

## **DESARROLLO DE TÉCNICAS NEUTRÓNICAS PARA DETECCIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS**

**D'Amico, N.M.B.<sup>1</sup> y Mayer, R.E.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Balseiro, Centro Atómico Bariloche, CNEA

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Cuyo

### **RESUMEN**

El movimiento transfronterizo de sustancias químicas de carácter peligroso está siendo regulado a nivel internacional debido a las consecuencias ambientales ocasionadas por la incorrecta gestión de las mismas. La comunidad internacional se encuentra comprometida por multitud de convenios internacionales que busca detectar el tráfico ilícito de sustancias químicas. Puede mencionarse algunos convenios internacionales donde Argentina es miembro Parte: Convenio de Basilea, Agenda 21, entre otros.

A través de la utilización de una fuente isotópica de neutrones, produciendo una reacción  $(n,\gamma)$ , pueden observarse los decaimientos de los gammas "prompt" propios de los elementos químicos de interés como ser mercurio, cloro, cromo y cadmio.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Con el objetivo de detectar el tráfico ilícito de sustancias químicas de carácter peligroso se realizan diferentes pruebas y/o experimentos a los fines de identificar los gammas "prompt" obtenidos a partir de la reacción  $(n,\gamma)$  inducida por una fuente isotópica de Am-Be de <sup>137</sup>CsAlfa.

Se realizaron varias pruebas experimentales a los fines de maximizar la relación señal-ruido y obtener un blindaje adecuado para el personal que trabaja en el sitio. Muchas de las señales obtenidas en las pruebas experimentales muestran picos gammas que no son propios de la muestra irradiada sino producto de la activación del detector semiconductor Ge(Li), luego de estar expuesto varios días a la irradiación con la fuente de neutrones.

Cabe citar que, la señal proveniente del fondo impide observar con nitidez la señal proveniente de la muestra. Para ello, se utilizan diferentes métodos como la selección de regiones de interés para poder evaluar más detalladamente el espectro obtenido. Una vez hallados los gammas "prompt" propios de las muestras de interés se probará aplicar el escáner a escala piloto.

Como se mencionó anteriormente, la detección del tráfico ilícito de sustancias químicas peligrosas está siendo regulada a nivel internacional por ello, la necesidad de diseñar un escáner de neutrones que pueda ser utilizado como herramienta de confirmación posterior al escaneo por RX. Las sustancias que desean detectarse son el mercurio dado su característica neurotóxica, el cadmio por tratarse de un elemento cancerígeno, los compuestos clorados y el cromo que también se encuentran regulados internacionalmente.

---

<sup>1</sup> E-mail del Autor: [nataliadamico@yahoo.com.ar](mailto:nataliadamico@yahoo.com.ar), [damicon@cab.cnea.gov.ar](mailto:damicon@cab.cnea.gov.ar)

## 2. RESULTADOS

El arreglo empleado para las mediciones se encuentra alejado del diseño a implementarse a escala real pero permite obtener los primeros resultados para un posterior avance en el escaneo no intrusivo de contenedores.

En primera instancia, se empleó un acelerador lineal de electrones (LINAC) de 25 MeV como fuente pulsada de neutrones [1, 2, 3, 4], con un arreglo de detectores plausible para la detección de la respuesta gamma inducida por los neutrones incidentes sobre la sustancia de transporte restringido o peligroso. Posteriormente, se emplearon fuentes isotópicas de neutrones ( $^{252}\text{Cf}$  y Am-Be) con el fin de relevar las respuestas gammas esperables (espectro gamma) de las sustancias de interés. Dada la baja intensidad de la fuente de  $^{252}\text{Cf}$  ( $10^4$  n/seg aproximadamente) se optó por utilizar la fuente de Am-Be de mayor intensidad, 1 Ci-alfa.

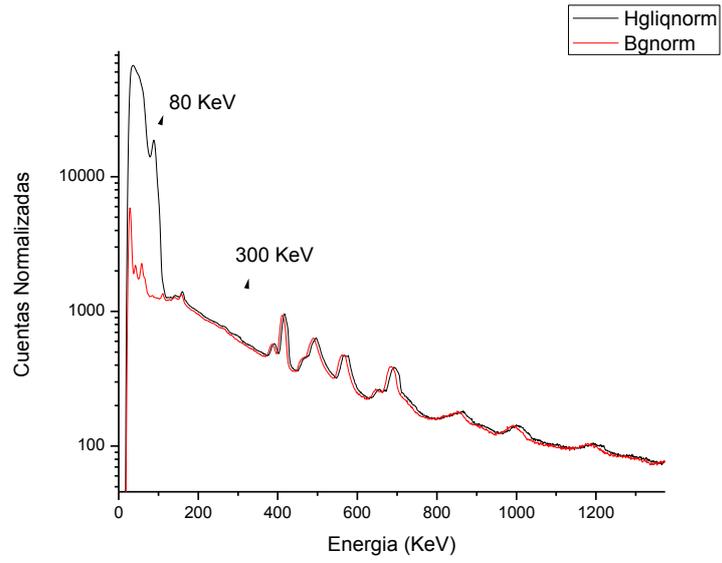
La medición se realizó moderando la fuente neutrónica con parafina y con blindaje de plomo. Este arreglo permitió minimizar el ruido proveniente del fondo ambiente y maximizar la señal de la muestra. Con la colocación de un filtro de cadmio, se obtienen neutrones, preferentemente, epitérmicos mientras que sin el filtro se obtienen neutrones de características térmicas. Las mediciones con neutrones epitérmicos han presentado varios inconvenientes para la obtención de resultados precisos y confiables. Luego, se irradió las muestras con neutrones rápidos, es decir, sin ningún tipo de moderación y con el mismo blindaje utilizado en el primer experimento. En esta última medición, solo se obtuvo resultados fidedignos en la muestra de cloro.

Un aspecto de relevancia es el corrimiento en energía de los espectros entre una medición y la otra. Este corrimiento puede ser causado por varios motivos, uno de ellos está relacionado con el sistema de adquisición de datos. Este aspecto continúa siendo estudiado ya que, en determinadas situaciones, no se observa el inconveniente.

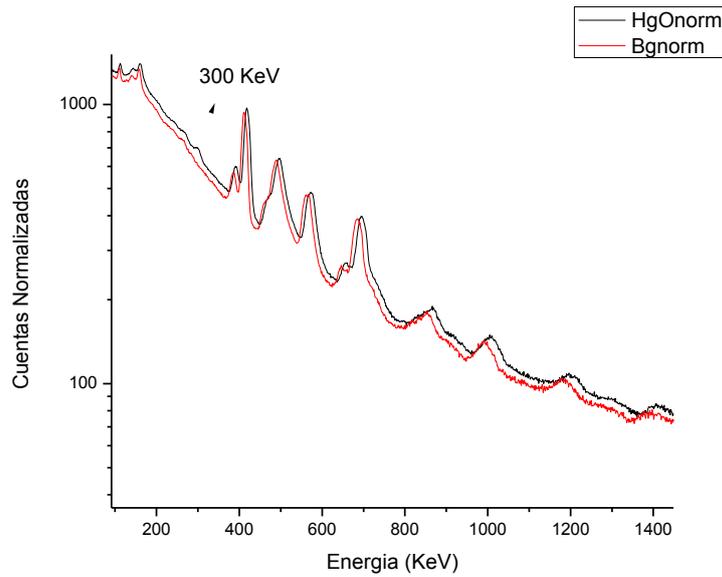
La detección de los gammas provenientes de las muestras fueron realizadas con un detector Ge(Li) que posee alta resolución en energía facilitando la identificación de los picos gammas de interés. Los picos hallados fueron corroborados con tablas teóricas donde figuran los gammas “prompt” de cada isótopo acorde a su número másico o su energía de decaimiento.

En las Figuras 1 y 2 se observa los picos característicos del mercurio con neutrones térmicos. En la muestra de mercurio líquido puede observarse dos picos significativos a bajas energías, mientras que en la muestra de óxido de mercurio puede observarse un solo pico gamma significativo que coincide con el hallado en el mercurio líquido, esto indica que la señal proviene de la muestra estudiada y no del envase o del fondo.

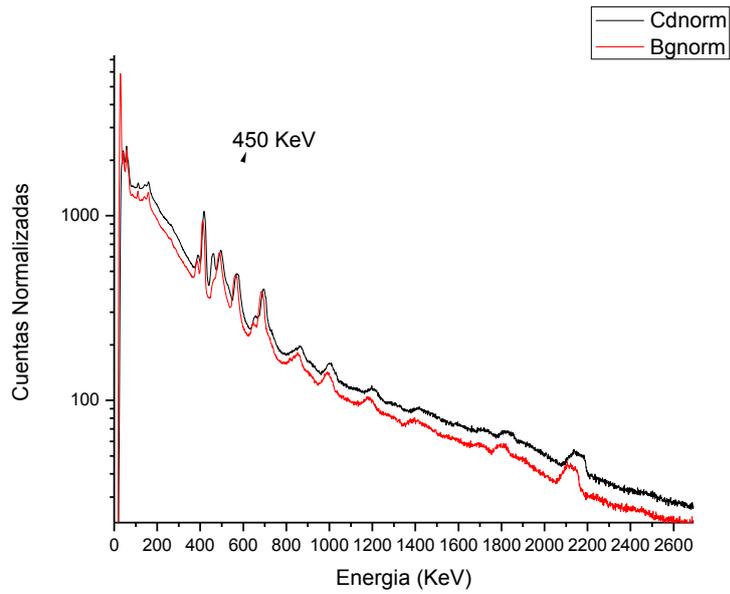
En las Figuras 3, 4, 5 y 6 pueden observarse los picos gammas propios del cadmio y del cloro con neutrones de bajas energías. El cloro es un elemento fácilmente identificable debido al importante número de gammas “prompt” que emite cuando se lo expone a una fuente de neutrones térmicos ya que, presenta una sección eficaz significativa para neutrones de dicha energía. En la Figura 7, se observa el espectro del cromo, el cual presenta cierta dificultad para ser identificado con neutrones de baja energía. En la Figura 8, puede identificarse el pico gamma característico obtenido con una muestra clorada con neutrones rápidos.



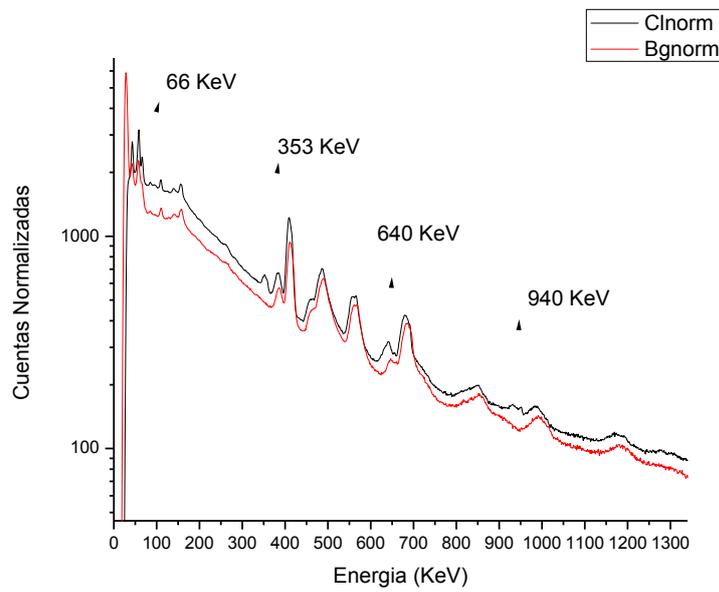
**Figura 1: Espectro gamma de la muestra mercurio líquido con neutrones térmicos**



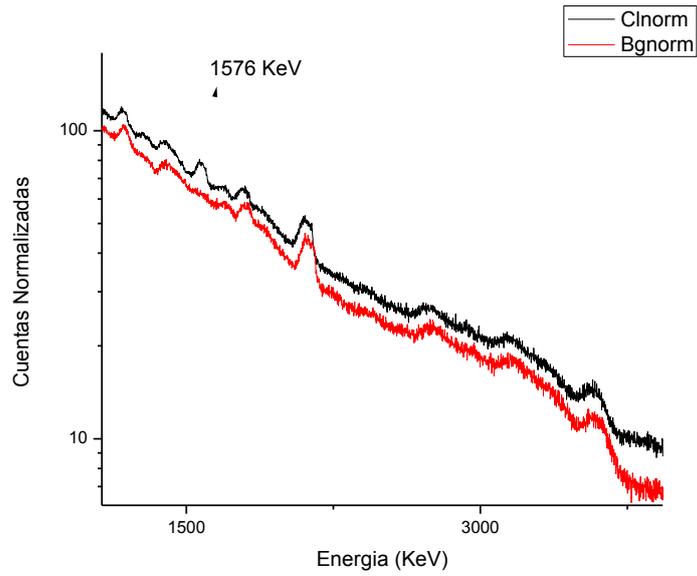
**Figura 2: Espectro gamma de la muestra de óxido de mercurio con neutrones térmicos**



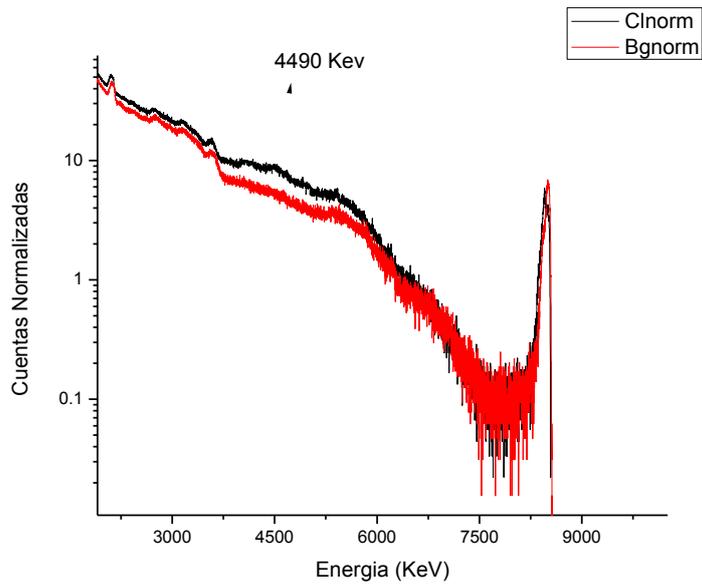
**Figura 3: Espectro gamma de la muestra de cadmio con neutrones térmicos**



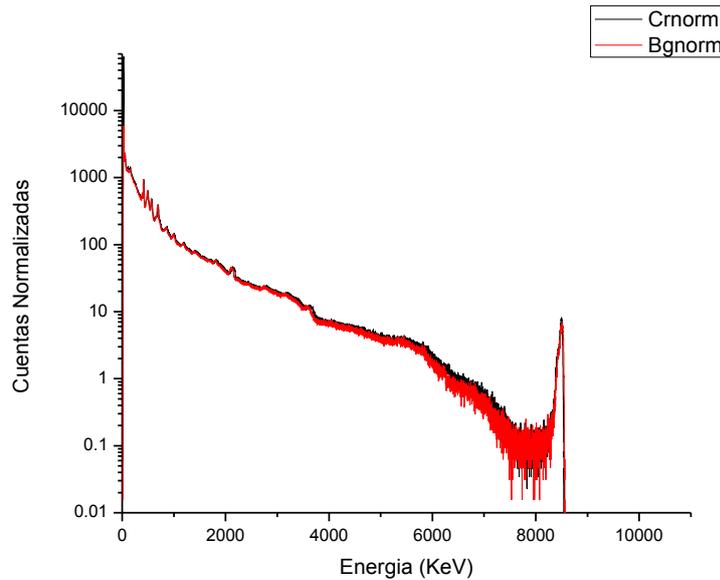
**Figura 4: Espectro gamma de la muestra de cloro a bajas energías con neutrones térmicos**



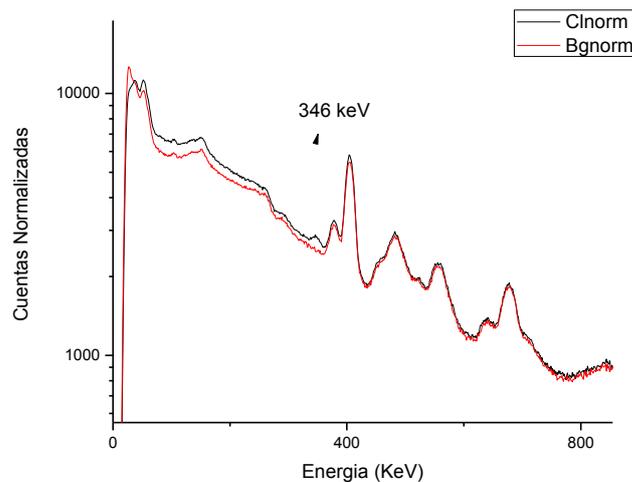
**Figura 5: Espectro gamma de la muestra de cloro a energías intermedias con neutrones térmicos**



**Figura 6: Espectro gamma de la muestra cloro a altas energías con neutrones térmicos**



**Figura 7: Espectro gamma de la muestra de cromo con neutrones térmicos**



**Figura 8: Espectro gamma de la muestra cloro con neutrones rápidos**

### 3. CONCLUSIONES

Las secciones eficaces de cada elemento químico varían notablemente en función de la energía de los neutrones incidentes. Por lo tanto, la fuente neutrónica que se utilice en el escáner debe permitir moderar o no los neutrones incidentes acorde a la sección eficaz del elemento o compuesto químico que se desea detectar. El sistema de detección utilizado en las mediciones presenta una alta resolución en energía pero su costo y condiciones de operación

impiden su elección para ser aplicado a escala real. En un escáner industrial debería utilizarse una gran batería de detectores de menor costo y operación a temperatura ambiente.

Se continuará investigando la detección de picos gammas característicos de cada sustancia química como también, el desarrollo de mejores técnicas de detección a los fines de agilizar la detección de los compuestos deseados en las aduanas y generar una base de datos experimental completa y fidedigna.

#### 4. REFERENCIAS

1. R. E. Mayer, A. Tartaglione, J. J. Blostein, M. Schneebeli, P. D'Avanzo, L. Capararo, Position Sensitive Detection of Concealed Substances Employing Pulsed Slow Neutrons, Second Research Coordination Meeting on Neutron Based Techniques for the Detection of Illicit Materials and Explosives, UN Internat. Atomic Energy Agency (IAEA) Coordinated Research Project. Mumbai, India, November 12-16 (2007).
2. A. Tartaglione, F. Di Lorenzo, R. E. Mayer, Detection of Thermal-Induced Prompt Fission Neutrons of Highly-Enriched Uranium: A Position Sensitive Technique, *Nucl. Inst. and Meth. In Physics Research*, **B 267**, 2453-2456 (2009).
3. R. E. Mayer, A. Tartaglione, F. Di Lorenzo, C. Sepulveda Soza, M. Schneebeli, P. D'Avanzo, and L. Capararo, Active Neutron Interrogation Approach to Detect Special Nuclear Material in Containers. AccAp2009-International Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators; Satellite Meeting-V: Neutron Based Techniques for the Detection of Illicit Materials and Explosives. Vienna, Austria, May 4-8 (2009).
4. R. E. Mayer, A. Tartaglione, J. J. Blostein, C. Sepúlveda Soza, M. Schneebeli, P. D'Avanzo, and L. Capararo, Slow Neutron Interrogation for Detection of Concealed Substances. Thrid Research Coordination Meeting on Neutron Based Techniques for the Detection of Illicit Materials and Explosives, United Nations Internat. International Atomic Energy Agency (IAEA) Coordinated Research Project, United Nations, Vienna, Austria. Johannesburg, South Africa, November 16-20 (2009).

